

スピーカーシステムを EQ するための 最適な測定ロケーション



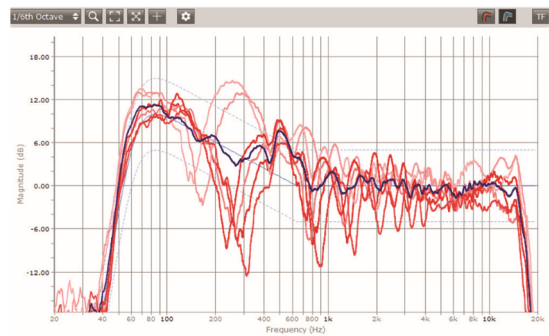
- 測定エリア：ソースカバレッジ
(オーディエンス奥行 1/4 から 3/4、壁面から離れて)
- 最小数：8 か所
- レイアウト：幅と奥行きに広がるマルチロケーション
(側壁から均等距離になる単一のラインを存在させない)

システムチューニングのための測定

スピーカーシステムのチューニング*は、理想的にはオーディエンスエリア全体を最適化することを目的としています。しかし、現場での EQ*の選択は、限られた数の測定した周波数レスポンス*に基づいて行わなければなりません。

誤った EQ を防ぐためには代表的な測定結果のセットを捉えることが重要であり、つぎのことが必須です。

- アベレージ周波数レスポンスを構成する個々の周波数レスポンスの空間的な変化が滑らか。
- 個々の周波数レスポンスが空間的に安定したパターンを示していることが明らか。



マルチロケーション測定における推奨事項

測定エリア

測定エリアは「オーディエンスエリア奥行き方向の中央部付近」「壁から離れた」「ソースのカバレッジ内」に限定する必要があります。このことは「測定時にマイクを立てられないエリアがある」などの現場における実用的な要素を考慮するとともに、EQ 処理ができないような非常に局所的な不規則性がデータに入り込むことを避けられます。この不規則性は、以下に挙げるように、直接音*自体や反射*から発生する可能性があります。

なぜオーディエンスエリア前方 1/4 を避けるのか？

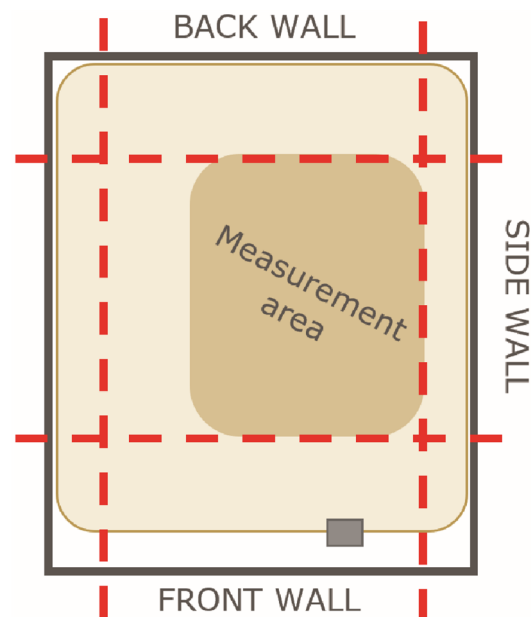
- 直接音：大型ラインソースが備える「近距離における中低域での潜在的な不規則性」。
- 部屋からの反射音：正面の壁から発生する反射音の大きなばらつき。

なぜオーディエンスエリア後方 1/4 を避けるのか？

- 直接音：距離の増加に伴う測定に対する信頼性の低下（屋内においては間接音が直接音を上回る、屋外においては不安定な大気条件）。
- 部屋からの反射音：後ろ壁から発生する反射音のレベルとばらつきの増加。

なぜ壁の近くで測定してはいけないのか？

少なくとも壁から 3m 離れた場所で測定を行うことで、室内の反射音のばらつきが最も大きくなるエリアを避けられます。



測定レイアウト

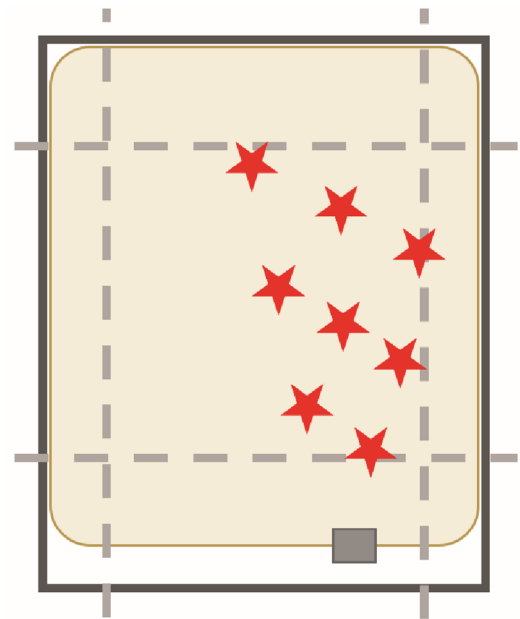
ロケーションは測定エリアの奥行きおよび横幅方向に分散してレイアウトする必要があります。最良の代表性を得るには**ゼブラレイアウト** (Zebra layout) の採用をおすすめします。このレイアウトは、直接音の特徴と強い反射音を捉えるという観点から優れた代表性を提供します。

なぜ奥行き方向に測定ロケーションを広げるのか？

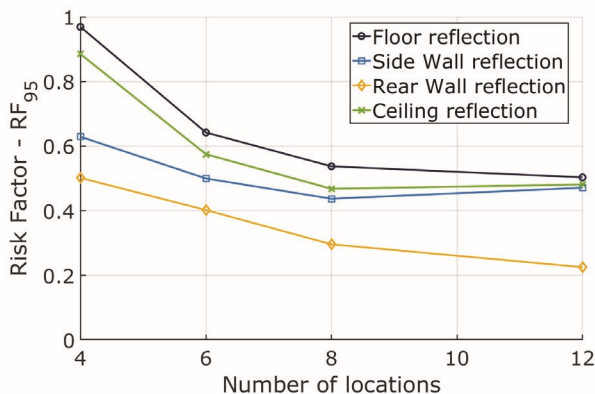
- **直接音** : オーディエンスエリア全体にわたる平均的なトーンバランス*をより代表的に捉えられる。
- **部屋からの反射音** : 床や天井からの反射音をより代表的に捉えられる。

なぜ横幅方向に測定ロケーションを広げるのか？

- **直接音** : 軸外におけるシステムレスポンスの変動を考慮することによる精度の向上。
- **部屋からの反射音** : 部屋内の位置に大きく依存する側壁からの反射音をより代表的に捉えられる。



注：一般的に、側壁と平行な位置の測定レイアウトは誤った安定性エフェクトを捉えてしまうことを誘発し、不適切なチューニングの判断につながる可能性があるため避けるべきです。



測定ロケーション数

ロケーション数を増やすと空間全体のシステムレスポンスをより代表的に測定できます。それでもなお、チューニングを誤って決定してしまうリスクの観点からみると、8 か所を超えるロケーションを用いることに真のメリットはありません。(リスクファクターを参照)

用語集

カバレッジ : スピーカーシステムが許容可能な周波数レスポンスの変化内で直接音を提供するエリア。

直接音 : 障害物や境界に接することなく、音源からリスナーであるリスナーやマイクまで直接伝わる音波。

EQ / イコライゼーション : オーディオシステムの周波数レスポンスを電氣的に調整することを目的としたツールまたはプロセス。

周波数レスポンス : システムの要素によって信号に引き起こされる周波数依存の変動の特性。

ローミッド周波数 : 250 Hz から 1000 Hz までの周波数範囲。

反射 : レシーバーであるリスナーやマイクに到達する前に面(サーフェス)に到達した音波。

残響 : 音源が停止したのち、反射や散乱を繰り返した結果として密閉空間に残る音。

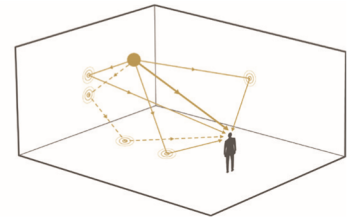
システムチューニング : イコライゼーションとアライメント技術を用いて、スピーカーシステムの性能を電氣的に最適化すること。

トーンバランス : レスポンスまたはスペクトルにおける異なるオーディオ周波数レンジ間のおおまかな大小関係。

付録 1：強い反射音の空間による変動性

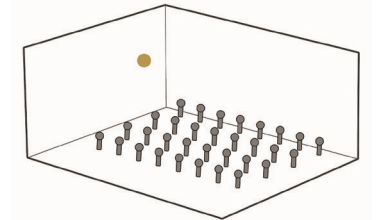
シミュレーション

シミュレーションは、オーディエンスエリア全体における「もっとも強い部屋からの反射音の空間による変動性」を調査するために実施しました。このシミュレーションのフレームワークは、さまざまな測定レイアウトが代表的なデータを取得する能力を評価するためにも使用しました。シンプルな形状の2つの部屋（床面積が15x20mと45x60mの直方体）を用いました。数値モデルにあたり、無指向性ソースを用いるとともに、反射の強度を人為的に制限していません。

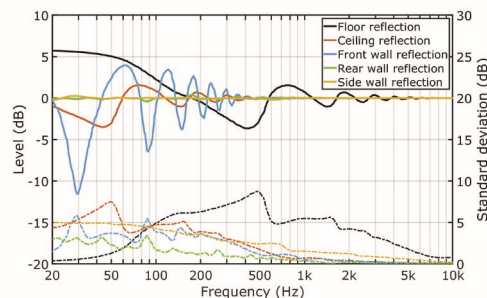


強い反射音のリファレンスレスポンス

ソースカバーレッジエリア全体の平均レスポンスは、エリアを網羅的にサンプリング（1 m ごとに配置した測定ロケーション）することで推定できます。リファレンスレスポンスと呼ばれるこのレスポンスは、部屋の床、天井、前壁、後壁、側壁ごとの強い反射音を評価しました。



これらのリファレンスレスポンスは、様々な測定構成の代表性を評価するためのターゲットとして機能します。



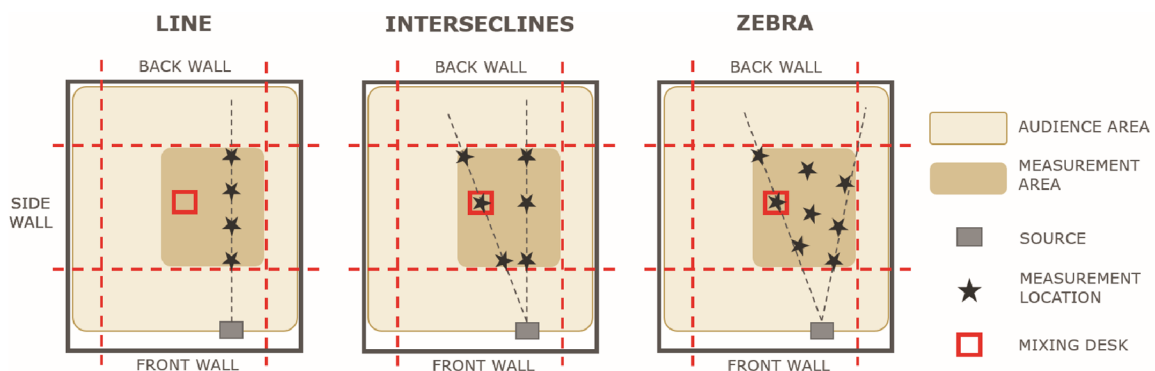
リファレンスレスポンス：ソースカバーエリア内における平均マグニチュードレスポンス（上）とロケーション全体の関連標準偏差（下）

付録 2：測定構成

測定構成とは、特定のレイアウトにしたがって配置した特定の数のロケーションを意味します。テストした構成は4、6、8、12のロケーションと、実際の現場を想定した3つのレイアウトです。

- **ライン**：すべてのロケーションはソース軸の線上に位置します。この構成はゾーニンググループの最適化によく用いられていました。（オートソルバーのアプローチにおいてはもはや最適とは言えません。）
- **インターセクトライン**：ソースの軸上に1つ目のラインと、オーディエンスエリアの中心方向に向き1つのロケーションがミキシングデスクとなる軸外の2つ目のライン。
- **ゼブラ**：ロケーションが広範囲に分布。測定エリアの奥行と横幅に対して広がりを持つ。

これらの測定構成はチューニングの際に判断を誤るリスクに基づいて比較しました。（リスクファクターを参照）

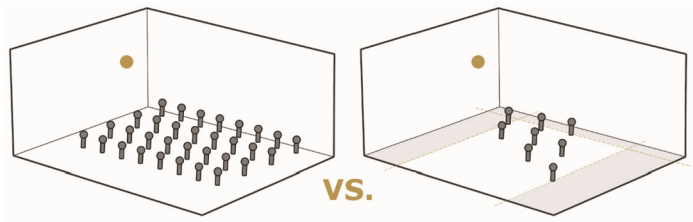


付録 3 : リスクファクター

リスクファクターは、チューニングの際に判断を誤るリスクに焦点を当てて測定構成を比較するために用いる評価基準です。

これを行うために、各構成における 4、6、8、12 ロケーションのレスポンスは各反射について個別に平均化し、対応するリファレンスレスポンス（反射ごとに 1 つのリファレンスレスポンス）と比較しました。各コンフィギュレーションの周波数レスポンスにおける潜在的なエラー

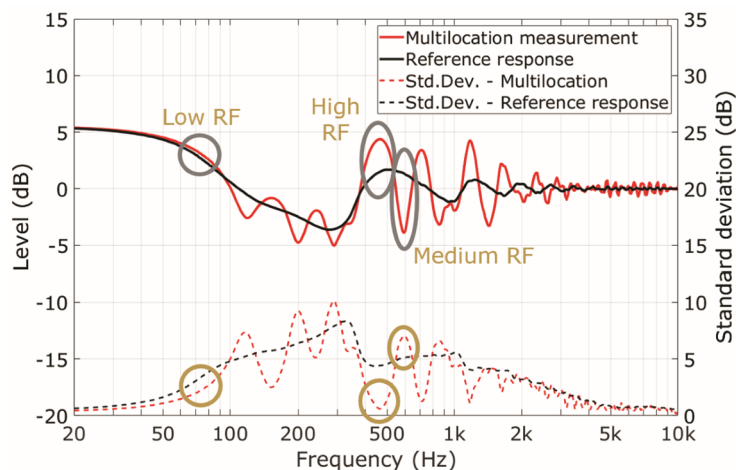
は、ロケーション間の測定結果の一貫性を考慮して重み付けし、ロケーション間の測定結果の一貫性が高いほど、周波数レスポンスのエラーに多くの重みを与えます。このことは、テスト構成において測定結果の間に一貫性があるように見えるレスポンスのエラーを示した場合に、不適切なチューニングの決定を適用するリスクをより反映させるために選択しました。特定の周波数ではリスクファクター基準が高いほど不適切なチューニング決定を行うリスクが高くなります。



数学的には、リスクファクターRF(f)は次のように説明できます：

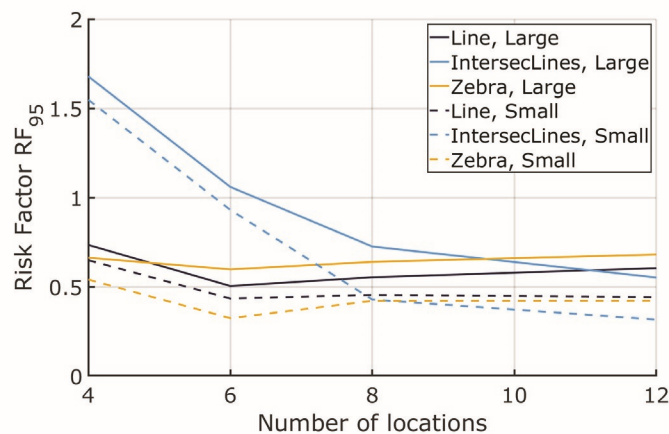
$$RF(f) = MRE(f) \cdot \frac{1}{1 + STD_{config}(f)}$$

MRE(f)はテスト測定構成とリファレンスレスポンスの間のマグニチュードレスポンスエラーであり、STDconfig(f)は、テスト構成測定間の標準偏差です。



特定の測定構成におけるリスク係数（低・中・高）に関連する周波数エリアの例。

各測定構成について最大リスクファクターを 20 Hz - 1 kHz の範囲で算出し、値を測定構成間で比較した結果、不適切なチューニングの判断を招いてしまうリスクが少ない構成を特定しました。



「小さな部屋」と「大きな部屋」における床面反射の最大リスクファクター